

Dynamische Echtzeit - Bodenfeuchte - Messung

Konzeption zur Regelung von landwirtschaftlichen Geräten für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung

Ersten Versuche mit einer modifizierten TDR - Messtechnik zeigen bereits die Vorteile eines Online-Feuchte Messverfahrens. Das „offline“ schon zur Kartierung eingesetzte System führte zu schlüssigen Werten, welche sich noch weiter optimieren lassen. Die als gut zu bewertende Unempfindlichkeit der vom System erfassten Messwerte gegenüber hoher Düngergabe garantiert eine praktische Einsetzbarkeit. Insgesamt präsentiert sich das angestrebte dynamische Messsystem als praktikabel, obwohl der Messaufwand derzeit noch zu hoch ist.

Dipl. Ing. agr. Cornelius Jantschke bearbeitet als Doktorand bei Prof. Dr. Karlheinz Köller in Zusammenarbeit mit der Firma IMKO das Projekt zur Entwicklung einer dynamischen Echtzeit-Bodenfeuchtemessung am Institut für Agrartechnik in den Tropen und Subtropen der Universität Hohenheim, Garbenstrasse 9, 70593 Stuttgart; e-mail: jantschke@ats.uni-hohenheim.de.

Schlüsselwörter

Bodenfeuchte - Messungen , TDR, Echtzeit, dynamisch, precision farming

Keywords

Soil moisture measurement, TDR, real-time, dynamic, precision farming

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03604 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die teilflächenspezifische Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen erfordert die Kenntnis der Bodenfeuchte. Neben anderen Messwerten, die den Ist - Zustand eines Feldes charakterisieren, stellt die Bodenfeuchte einen der wichtigsten Einflussfaktoren für erfolgreiches Arbeiten auf einem Schlag dar. Sie entscheidet über die Befahrbarkeit, bedingt den Aufgang von Saatgut und die Effektivität der Düngung, beeinflusst die erforderliche Zugkraft und damit die Aufwendungen für die Bearbeitung. Kurz - das Wissen um die aktuelle Bodenfeuchte ist wichtig, um weitere Fortschritte hinsichtlich Genauigkeit und Effektivität der teilflächenspezifischen Bearbeitung zu erzielen, die heutzutage von einem Landwirt erwartet, aber auch gefordert werden.

Methoden zur Messung von Bodenfeuchte

Die Forderung nach Kenntnis der aktuellen Bodenfeuchte wird anhand vieler praktischer Arbeiten auf dem Feld, deren Erfolg stark von der Kenntnis vorliegender Bodenfeuchte abhängt, bestätigt. Dies induziert aber die Forderung nach Messwerten, die unmittelbar vorliegen und exakt sein sollen.

Zur Messung von Bodenfeuchte wurden in der Vergangenheit zahlreiche Systeme und Verfahren entwickelt, die aber nur teilweise für eine dynamische Messung der Bodenfeuchte in Frage kommen. Herkömmliche Systeme zur Messung von Bodenfeuchte bieten bislang nur unzureichende Messgeschwindigkeit bei zu hohen Kosten, zu hohem Gewicht und/oder zu hohem Aufwand für eine anwendbare Echtzeit - Messung auf dem Feld.

Die am häufigsten zur Kartierung von Bodenfeuchte adaptierte und angewandte Technik stellt das „EM - 38“ der Firma Geonics zur elektromagnetischen Vermessung von Bodenparametern dar. Dabei misst das „EM - 38“ die scheinbare elektrische Leitfähigkeit. Zur Messung wird durch ein primäres elektromagnetisches Feld ein Impuls in den

Boden induziert. Dadurch wird Aufschluss über die scheinbare Leitfähigkeit des Bodens, die im Zusammenhang mit der Bodenfeuchte steht, gegeben. Die Messung ist von Faktoren wie Ionenstärke, Bodentemperatur und Textur abhängig [1] und umfasst darüber hinaus ein unklar definiertes Bodenvolumen, so dass diese Methode mehr die Möglichkeit eines Überblicks als einen exakten, punktgenauen Messwert bietet. Es wird bei diesem Verfahren zwar dynamisch, aber nicht punktgenau in hoher Messwertauflösung gemessen. Daher ist das System nur bedingt für das Vorhaben einer dynamischen Messung der Bodenfeuchte geeignet.

Bei der Messung von Bodenfeuchte durch einen *Infrarotsensor* (IR - Sensor) nutzt man die Tatsache, dass feuchter Boden durch ein anderes Reflexionsverhalten charakterisiert wird als trockener Boden. Das IR - Verfahren arbeitet mit einer Sender - Empfänger Kombination. Im Einzelnen wird Lichtstrahlung einer bestimmten Wellenlänge emittiert, deren Reflexion von einer speziellen IR - Diode aufgenommen wird. Problematisch für die feldbezogene Anwendung ist, dass für jedes Substrat kalibriert werden muss, um gesicherte Aussagen hinsichtlich der Bodenfeuchte zu treffen [2]. Außerdem muss zu jeder Messung Boden ausgestochen werden. Dadurch ist dieses Verfahren als Basis dynamischer Messungen wegen zu hohem Messaufwandes und umständlicher Kalibrierung nicht geeignet.

Neben den genannten wurden *radiometrische Verfahren* ebenfalls zur Bestimmung der Bodenfeuchte eingesetzt. Von einer radioaktiven Quelle, welche in den Boden eingebracht wird, werden Neutronen mit hoher Geschwindigkeit emittiert. Das Verfahren beruht auf der Messung der Zählrate von Neutronen. Die Intensität der verbleibenden, nicht kollidierten Neutronen kann mit einem BF3-Detektor (Proportionalzählrohr) gemessen und in eine Beziehung zum volumetrischen Bodenwassergehalt gebracht werden. Durch den Umstand, dass die Neutronenstrahlung, neben freiem Wasser, auch durch kristallines Wasser und organische

Stoffe gebremst wird, ist es schwer, mit diesem System eine eindeutige Aussage über den Bodenwassergehalt ohne weitere Abhängigkeiten zu treffen [3, 4].

Die *Time Domain Reflectometry* (TDR) wurde ursprünglich zur Aufspürung von Kabelschäden entwickelt. Bei diesem Verfahren wird die Laufzeit der Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle beispielsweise im Boden gemessen. Nach Gleichung 1 ist die Geschwindigkeit c einer elektromagnetischen Welle im Vakuum gleich der Lichtgeschwindigkeit c_0 . Tritt die Welle aber aus dem Vakuum aus, ist ihre Geschwindigkeit nur noch von der relativen Dielektrizitätskonstanten ϵ_r und der magnetischen Permeabilität μ_r des Materials abhängig. Da diese hier gleich 1 gesetzt werden kann, hängt die Bodenfeuchte folglich nur noch von der Dielektrizitätskonstanten ab. Diese liegt bei trockenem, porösen Material ($\epsilon_r < 5$) charakteristisch niedriger, als die von Wasser ($\epsilon_r = 81$). Damit stehen Laufzeit und Bodenfeuchte in direkter Korrelation, die weitestgehend unabhängig von der Leitfähigkeit ist [5].

$$c = c_0 / \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r} \quad (\text{Gl. 1})$$

Dabei ist die Ermittlung der aktuellen Bodenfeuchte abhängig von Textur, Bodenart und Porengröße. Bei der Messung der Bodenfeuchte mit einem TDR-Sensor ist daher mit dem Ziel eines unverfälschten Messergebnisses stets auf guten Bodenkontakt zu achten. Die Geometrie des Sensors schränkt das gemessene Bodenvolumen je nach Bauform stark ein und gibt so ein präzises Messvolumen. Die TDR - Technik bietet für die Konzeption eines dynamischen Feuchte - Sensors entscheidende Vorteile, wie die exakte Begrenzung eines Messvolumens und vor allem die relative Unabhängigkeit von Einzelkalibrierungen vor den Messungen.

Versuche

Nach den ersten Labor-Versuchen zur Bestimmung von Einflüssen stark erhöhter Leitfähigkeit konnte festgestellt werden, dass die Sonden innerhalb der üblichen Schwankungsbreite von TDR - Sensoren dieser Art um $\pm 3\%$ des gemessenen Mittelwertes agierten [6]. So steht der Bestimmung der aktuellen Bodenfeuchte auf einem Schlag mittels TDR - Messung selbst bei einem hohen Düngungsniveau und damit erhöhter Leitfähigkeit nichts entgegen. Die erste Konzeption von Prototypensystemen zur Handmessung der Bodenfeuchte bei absetziger Überfahrt über den Schlag enthielt be-

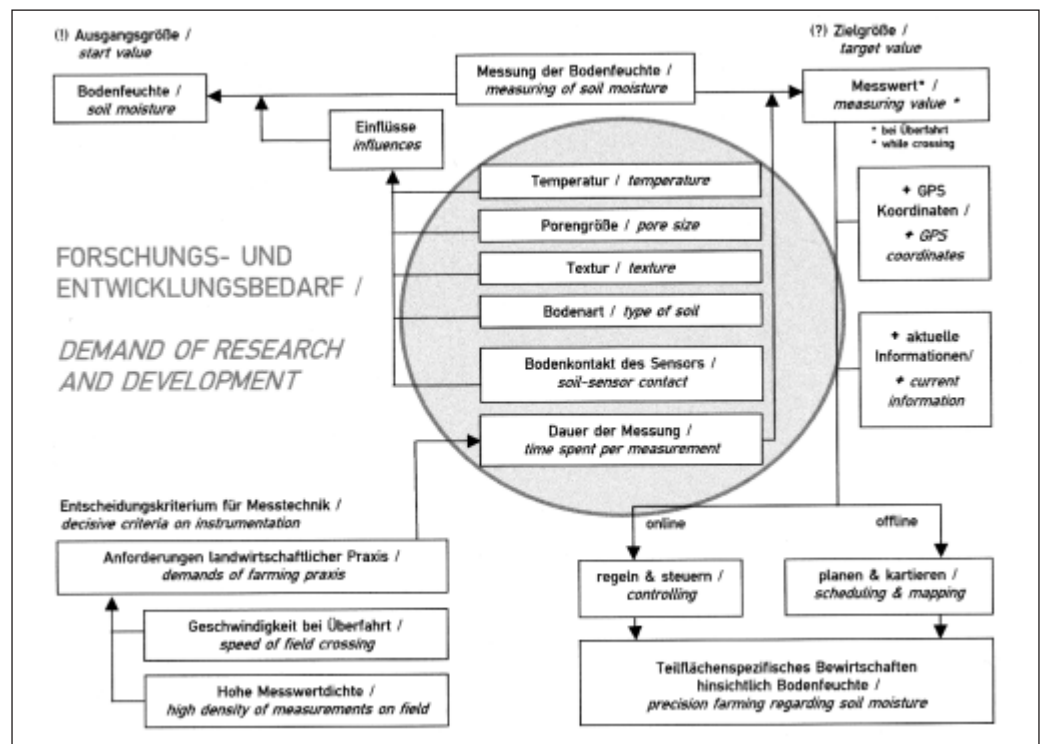


Bild 1: Konzeption eines dynamischen Bodenfeuchtesensors

Fig. 1: Concept of a dynamic soil moisture sensor

reits die Verknüpfung von Feuchtedaten mit der Koordinatenbestimmung durch GPS (Global Positioning System). Der „Offline - Betrieb“ erster Sonden hatte die Kartierung von Feldern zum Ziel. Nach der weiterführenden Entwicklung vollmobiler, dynamischer Sonden, die in einer nicht-absetzigen Überfahrt die Bodenfeuchte erfassen sollen, sind im Anschluss erste Regelungen landwirtschaftlicher Geräte vorgesehen. Dies kann beispielsweise der Regulierung von Reifendruck, Aussaatstärke und -tiefe sowie Düngungsintensität dienen. Durch die Berücksichtigung weiterer aktuell gewonnener Messwerte wie Windgeschwindigkeit, Boden- und Lufttemperatur lässt sich die beschriebene Regulierung weiter präzisieren (Bild 1). Die ersten Messwerte auf dem Feld erreichten aber noch nicht den im Labor erzielten Gütestandard. Die Messwerte der eingesetzten TDR - Sonden lagen in einer Schwankungsbreite von $< 1\%$ bis $\sim 15\%$ abweichend vom gravimetrisch bestimmten Bodenwassergehalt. Die höchsten ermittelten Feuchteschwankungen auf homogenen Schlägen lagen bei 21%. Zur dynamischen Messung der Bodenfeuchte in Echtzeit werden im Moment geeignete Bearbeitungs-

werkzeuge konzipiert und erprobt. Die Firma IMKO übernimmt als Projektpartner die Aufgabe das bisherige Messverfahren auf online - fähige Messzeiten zu beschleunigen, was es auch erlauben wird, während tatsächlich praktizierten Bearbeitungsgeschwindigkeiten die Feuchte im Oberboden zu ermitteln. Dies soll durch Optimierung der bisherigen TRIME - Technologie geschehen. Daneben besteht zur Verbesserung der Messgenauigkeit während einer dynamischen Erfassung von Messwerten ebenfalls großer Forschungsbedarf bei der Verbesserung des Bodenkontaktes der entsprechend entwickelten und eingesetzten dynamischen Sondenträger. Denn nur durch ein geringes mitgemessenes Luft-Volumen bleibt das Messergebnis präzise. Um selbst bei weitestgehend optimierten Sondenträgern erhöhte Messsicherheit zu schaffen, werden zusätzlich stichprobenweise Bodenproben entnommen, um später im Labor die reelle Bodenfeuchte durch gravimetrische Verfahren zu verifizieren. Zur Zuordnung der verschiedenen Messwerte und Proben läuft auf dem selben Datensatz ein GPS-Signal, das für die räumliche Zuordnung auf dem Feld sorgt (Bild 2).

Bild 2: Verteilung der gemessenen Bodenfeuchte auf einem Schlag

Fig. 2: Distribution of soil moisture measured within a field

